

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной  
работе

Лейфа А.В. Лейфа

14 июня 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
«ДЕФЕКТЫ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СИСТЕМАХ»

Направление подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность (профиль) образовательной программы – Физика твердого тела

Квалификация выпускника – Магистр

Год набора – 2024

Форма обучения – Очная

Курс 1 Семестр 1

Экзамен 1 сем

Общая трудоемкость дисциплины 180.0 (академ. час), 5.00 (з.е)

Составитель В.В. Нецименко, доцент, д-р физ.-мат. наук

Институт компьютерных и инженерных наук

Кафедра физики

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.20 № 898

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики

01.02.2024 г., протокол №6

Заведующий кафедрой Стукова Е.В. Стукова

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

14 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

14 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Стукова Е.В. Стукова

14 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и  
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

14 июня 2024 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель дисциплины:

Изучение основ физики дефектов в кристаллических и неупорядоченных структурах, типах неупорядоченных материалов, особенностях их электронных спектров, физических характеристик, поведения дефектов и химических примесей в неупорядоченных структурах и получение в итоге фундаментального образования, направленного на получение современного естественнонаучного мировоззрения.

### Задачи дисциплины:

- изучение основных типов дефектов в кристаллических и неупорядоченных структурах, методов их исследования;
- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями физики дефектов;
- получение знаний об упорядоченных и неупорядоченных системах и их физических моделях;
- изучение процессов и изменения свойств материалов в зависимости от типов дефектов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Дефекты в кристаллических и неупорядоченных системах» входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для освоения дисциплины необходимо знать:

- 1) курс общей физики;
- 2) курс теоретической физики.
- 3) физика твердого тела.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

### 3.1 Общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные и прикладные знания в области физико-математических и (или) естественных наук для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub> Обладает специальными знаниями и практическим опытом решения актуальных задач фундаментальной и прикладной физики. ИД-2 <sub>ОПК-1</sub> Умеет использовать методы решения прикладных задач в профессиональной деятельности.
ОПК-3 Способен в рамках своей профессиональной деятельности анализировать, выявлять, формализовать и находить решения фундаментальных и прикладных нанотехнических, технологических и инновационных задач.	ИД-1 <sub>ОПК-3</sub> Знает основные научные подходы к решению фундаментальных и прикладных научно-технических, технологических и инновационных задач. ИД-2 <sub>ОПК-3</sub> Умеет выбирать методы решения научно-технических задач профессиональной деятельности.

#### 4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.00 зачетных единицы, 180.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7	
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9				
1	Тема 1. Дефекты кристаллической решетки	1	1					4						6	Проверка в ходе лабораторной работы
2	Тема 2. Влияние дефектов на физические свойства кристаллов	1	1											7	Проверка конспектов лекций
3	Тема 3. Термическое равновесие дефектного кристалла простого вещества М.	1	1					4						7	Проверка в ходе лабораторной работы
4	Тема 4. Термическое равновесие дефектного кристалла бинарного соединения АВ	1	1					4						10	Проверка в ходе лабораторной работы
5	Тема 5. Электронно-дырочное равновесие	1	1											10	Проверка конспектов лекций



	кристаллов	атомов. Свойства, связанные с движением электронов в неосвещаемом кристалле. Оптические эффекты. Эффекты, связанные с захватом электронов. Магнитные эффекты.
3	Тема 3. Термическое равновесие дефектного кристалла простого вещества М.	Термическое равновесие дефектного кристалла простого вещества М. Статистическая сумма по состояниям разупорядоченного кристалла. Статистическая суммы по состояниям дефектного кристалла. Термически равновесная концентрация вакансий.
4	Тема 4. Термическое равновесие дефектного кристалла бинарного соединения АВ	Термическое равновесие дефектного кристалла бинарного соединения АВ. Хаотическое распределение металлических и неметаллических вакансий. Статистическая сумма по состояниям кристалла, разупорядоченного по Шоттки.
5	Тема 5. Электронно-дырочное равновесие дефектов	Электронно-дырочное равновесие дефектов. Энергетическая поверхность в подпространстве импульсов. Общее число электронов в зоне проводимости. Число дырок в заполненной (валентной) зоне. Схема расположения энергетических уровней в невырожденном полупроводнике.
6	Тема 6. Формирование и ионизация точечных дефектов	Формирование и ионизация точечных дефектов. Химические реакции образования дефектов по Шоттки и Френкеля в кристаллическом веществе. Ионизация металлических дефектов Френкеля в оксиде MO. Распределение валентных электронов в NaCl и выделение нейтральных вакансий. Ионизации дефектов по Шоттки в NaCl.
7	Тема 7. Влияние газовой фазы на равновесия дефектов твердых тел	Влияние газовой фазы на равновесия дефектов твердых тел. Фазовая диаграмма состояния бинарной системы. Изотермическая диаграмма концентраций дефектов в оксиде $MO_{1\pm x}$ в зависимости от давления кислорода.
8	Тема 8. Влияние примесей на равновесие дефектов	Влияние примесей на равновесие дефектов. Влияние концентрации примеси $M_2O_3$ на равновесие дефектов кристалла MO с собственными дефектами по Шоттки. Температурные зависимости концентраций дефектов в примесном кристалле.
9	Тема 9. Термическое равновесие дефектного кристалла соединения $ABO_3$	Термическое равновесие дефектного кристалла соединения $ABO_3$ . Равновесие реакций с участием дефектов. Анализ дефектной структуры $ABO_3$ . Точное решение для области доминирования металлических вакансий. Точное решение для области доминирования вакансий кислорода.
10	Тема 10. Диффузия дефектов в кристаллических телах	Диффузия дефектов в кристаллических телах. Изобарическая и изотермическая зависимости хаотической диффузии кислорода по вакансиям для окисла $MO_{1-x}$ содержащего примесь $MeO_2$ .

		Химический коэффициент диффузии. Направление потоков и изменение концентраций примесного дефекта и электронов в фазе А. Направление диффузионных потоков при образовании твердого раствора.
11	Тема 11. Дефекты в неупорядоченных конденсированных системах	Дефекты в неупорядоченных конденсированных системах. Флуктуации потенциальной энергии при перестройке конфигурации системы. Соотношение между характерными длинами, соответствующее малой концентрации дефектов. Соотношение между характерными длинами, соответствующее большой концентрации дефектов. зависимость коэффициента поглощения от частоты для идеального и неидеального полупроводника. Квантовый выход в запрещенной области фотоэффекта.
12	Тема 12. Модели беспорядка	Модели беспорядка. Беспорядок замещения. Магнитный беспорядок. Различные типы геликоидального упорядочения. Беспорядок в системе спинов Изинга. «Ледовый» беспорядок. Метрика ячеистого беспорядка.

### 5.2. Лабораторные занятия

Наименование темы	Содержание темы
Дефекты кристаллической решетки	Расчет концентрации тепловых точечных дефектов в ионных соединениях.
Нарушение численных соотношений между компонентами химического соединения	Объяснение зависимости электронной проводимости от давления компонент газовой фазы, анализ квазихимических уравнений происходящих процессов.
Влияние примесных атомов на дефектность кристаллов	Анализ типа проводимости в ионных соединениях
Диффузия в кристаллах	Расчет скорости точечных дефектов в ионных соединениях

### 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Тема 1. Дефекты кристаллической решетки	Работа с конспектами лекций. Подготовка к лабораторной работе.	6
2	Тема 2. Влияние дефектов на физические свойства кристаллов	Работа с конспектами лекций.	7
3	Тема 3. Термическое равновесие дефектного	Работа с конспектами лекций. Подготовка к лабораторной работе.	7

	кристалла простого вещества М.		
4	Тема 4. Термическое равновесие дефектного кристалла бинарного соединения АВ	Работа с конспектами лекций. Подготовка к лабораторной работе.	10
5	Тема 5. Электронно-дырочное равновесие дефектов	Работа с конспектами лекций.	10
6	Тема 6. Формирование и ионизация точечных дефектов	Работа с конспектами лекций.	10
7	Тема 7. Влияние газовой фазы на равновесия дефектов твердых тел	Работа с конспектами лекций.	10
8	Тема 8. Влияние примесей на равновесие дефектов	Работа с конспектами лекций.	10
9	Тема 9. Термическое равновесие дефектного кристалла соединения АВО <sub>3</sub>	Работа с конспектами лекций.	10
10	Тема 10. Диффузия дефектов в кристаллических телах	Работа с конспектами лекций. Подготовка к лабораторной работе.	10
11	Тема 11. Дефекты в неупорядоченных конденсированных системах	Работа с конспектами лекций.	10
12	Тема 12. Модели беспорядка	Работа с конспектами лекций.	10

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.01 – «Прикладные математика и физика» реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. При преподавании дисциплины «Дефекты в кристаллических и неупорядоченных системах» используются как традиционные (лекция, лекция - беседа, проблемная лекция, лекция- семинар), так и инновационные технологии (применение мультимедийного проектора, семинар-дискуссия, использование ресурсов сети Internet и электронных учебников).

Лекционные занятия проводятся с использованием традиционной, активной и интерактивной форм обучения.

Распределение образовательных технологий соответствует проведению занятий в интерактивной форме.

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, а также методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков отражены в фонде оценочных средств по дисциплине «Дефекты в кристаллических и неупорядоченных системах».

Вопросы к экзамену

1. Дефекты кристаллической решетки
2. Влияние дефектов на физические свойства кристаллов
3. Термическое равновесие дефектного кристалла простого вещества М
4. Термическое равновесие дефектного кристалла бинарного соединения АВ
5. Электронно-дырочное равновесие дефектов
6. Формирование и ионизация точечных дефектов
7. Влияние газовой фазы на равновесия дефектов твердых тел
8. Влияние примесей на равновесие дефектов
9. Термическое равновесие дефектного кристалла соединения  $ABO_3$
10. Диффузия дефектов в кристаллических телах
11. Дефекты в неупорядоченных конденсированных системах
12. Модели беспорядка

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) литература

1. Кваша, И. В. Дефекты строения твердых тел : учебное пособие / И. В. Кваша, В. А. Невровский. — Москва : Российский университет дружбы народов, 2017. — 132 с. — ISBN 978-5-209-07862-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/90991.html> (дата обращения: 13.06.2024).
2. Сарина, М. П. Физика твердого тела : учебное пособие / М. П. Сарина. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 107 с. — ISBN 978-5-7782-3319-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91466.html> (дата обращения: 13.06.2024).
3. Филимонова, Н. И. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Р. П. Дикарева. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2016. — 136 с. — ISBN 978-5-7782-2960-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91569.html> (дата обращения: 13.06.2024).
4. Артамонова, О. В. Химия твердого тела : учебное пособие / О. В. Артамонова. — Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 168 с. — ISBN 978-5-89040-529-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/55066.html> (дата обращения: 13.06.2024).
5. Сергеев, Н. А. Кристаллофизика : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. — Москва : Университетская книга, 2016. — 160 с. — ISBN 978-5-98699-182-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/66323.html> (дата обращения: 13.06.2024).

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	<a href="http://">http://</a>	Электронно-библиотечная система IPRbooks —

	www.iprbookshop.ru/	научно- образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования
--	---------------------	--

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	<a href="https://materialsproject.org">https://materialsproject.org</a>	База данных физико-химических свойств материалов

**10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Занятия по дисциплине проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно- библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно- образовательную среду университета. На занятиях применяется техническое оборудование.